پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری ـــ

پیوست‌ها

پیوست شماره ۱: مجموعه پارامترها، متغیرها و فهرست شاخص‌های مدل

I	**مجموعه مواد اولیه که توسط i ارائه شده است**	U^{max}	**حداکثر تعداد تسهیلات U که می‌توان احداث کرد**
J	مجموعه قطعات که توسط j ارائه شده است	vv_v	ظرفیت وسیله نقلیه v برای حمل محصول
A	مجموعه تامین‌کنندگان که توسط a ارائه شده است	vi_{vi}	ظرفیت وسیله نقلیه v برای حمل ماده اولیه i
B	مجموعه تسهیلات تولیدی بالقوه که توسط b ارائه شده است	vj_{vj}	ظرفیت وسیله نقلیه v برای حمل قطعه j
D	مجموعه مراکز توزیع که توسط d ارائه **شده است**	mz_{iz}	تقاضا برای ماده اولیه i در بازار مواد بازیافتی z
M	مجموعه مشتریان که توسط m ارائه شده است	ei_{ia}	انرژی مصرفی برای تولید ماده اولیه i در تامین‌کننده a
S	مجموعه مراکز جمع‌آوری که توسط s ارائه شده است	ej_{ja}	انرژی مصرفی برای تولید قطعه j در تامین‌کننده a
N	مجموعه مراکز بازیافت که توسط n ارائه شده است	eb_{tb}	انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد محصول در مرکز تولید b با فناوری t
P	مجموعه مراکز دفع ایمن که توسط p ارائه شده است	eUu	انرژی مصرف شده در پردازش یک واحد از محصول در مرکز u

C	مجموعه مراکز تولید انرژی پاک که توسط c ارائه شده‌اند	et_v	انرژی مصرفی در یک کیلومتر جابه جایی توسط وسیله نقلیه نوع v
R	مجموعه مراکز نوسازی که توسط r ارائه شده‌اند.	enb_{tb}	انرژی مصرفی برای ساخت مرکز تولید b با فناوری t
Z	مجموعه بازارهای مواد بازیافت شده که توسط z ارائه شده‌اند.	enU_u	انرژی مصرفی برای ساخت تسهیلات U
F	مجموعه مراکز دمونتاژ که توسط f ارائه شده‌اند.	COi_{ia}	مقدار کربن دی‌اکسید تولید شده برای تولید ماده اولیه i در تامین‌کننده a
V	مجموعه وسایل نقلیه از ناوگان حمل و نقل که توسط v ارائه شده‌اند.	COj_{ja}	مقدار کربن دی‌اکسید تولید شده برای تولید قطعه j در تامین‌کننده a
T	مجموعه فناوری‌های قابل استفاده که توسط t ارائه شده‌اند.	COb_{tb}	مقدار کربن دی‌اکسید تولید شده در پردازش یک محصول در مرکز تولید b با فناوری t
		$\underline{COU_u}$	میزان انتشار CO2 برای پردازش ۱ واحد محصول در مرکز u
پارامترها		TTc	هزینه کل مورد انتظار برای آموزش کارگران در زنجیره تامین
ci_{ia}	هزینه خرید یک کیلوگرم ماده اولیه i از تامین‌کننده a	TCb_b	هزینه آموزش کارگران در مرکز تولید b
cj_{ja}	هزینه خرید یک قطعه j از تامین‌کننده a	TCU_u	هزینه‌های انجام شده برای آموزش کارگران در مرکز u
pz_i	قیمت یک کیلوگرم از ماده اولیه i در بازار مواد بازیافتی	$FJNU_u$	تعداد موقعیت‌های شغلی ثابت ایجاد شده در مرکز u

cb_{tb}	هزینه تولید یک واحد محصول در مرکز تولید b با فناوری t	$VJNU_u$	حداقل نیروی کار مورد نیاز برای وظایف عملیاتی در مرکز u
cd_d	هزینه حمل و نقل یک واحد محصول در مرکز توزیع d	QU_u	مقدار محصولاتی که یک کارگر واحد در مرکز U می‌تواند تولید کند
cs_s	هزینه پردازش یک واحد محصول بازگشتی در مرکز جمع‌آوری s	**متغیرهای پیوسته غیر منفی**	
cn_{in}	هزینه پردازش یک کیلوگرم از ماده اولیه i در مرکز بازیافت n	XUX_{iUX}	مقدار ماده اولیه i که از تسهیلات U به مرکز X انتقال می‌یابد
cr_{jr}	هزینه پردازش قطعه j در مرکز بازسازی r	$XUXj_{UX}$	مقدار قطعه j که از تسهیلات U به مرکز X انتقال می‌یابد
cf_f	هزینه پردازش یک واحد محصول بازگشتی در مرکز دمونتاژ f	XBD_{tbd}	مقدار محصولی که از مرکز تولید b با تکنولوژی t به مرکز توزیع d انتقال می‌یابد
cp_{ip}	هزینه دفن ایمن یک کیلوگرم ماده اولیه i در مرکز دفن p	XDM_{dm}	مقدار محصولی که از مرکز توزیع d به مشتری m منتقل می‌شود
fb_{tb}	هزینه ثابت ساخت مرکز تولید b با فناوری تولید t	XMS_{ms}	مقدار محصول بازگشتی که از مشتری m به مرکز جمع‌آوری s منتقل می‌شود
fU_u	هزینه ثابت ساخت تسهیلات U	XSF_{sf}	مقدار محصول بازگشتی که از مرکز جمع‌آوری s به مرکز دمونتاژ f منتقل می‌شود
xaj_{aj}	ظرفیت تامین‌کننده a برای تامین قطعه j	**متغیرهای عدد صحیح**	
xai_{ai}	ظرفیت تامین‌کننده a برای تامین ماده اولیه i	VJB_{jvab}	تعداد وسیله نقلیه نوع v برای انتقال قطعه j از تامین‌کننده a به مرکز تولید b

xab_{t}^{b}	ظرفیت تولید محصول در مرکز تولید b با فناوری t	VIB_{ivab}	تعداد وسیله نقلیه نوع v برای انتقال مواد اولیه i از تامین‌کننده a به مرکز تولید b
xad_{d}	ظرفیت مرکز توزیع d	VUX_{vux}	تعداد وسیله نقلیه نوع v مورد نیاز برای حمل محصول / محصول برگشتی از مرکز تسهیلات u به مرکز تأسیسات x
xas_{s}	ظرفیت مرکز جمع‌آوری s	VUX_{jvux}	مقدار وسیله نقلیه نوع v مورد نیاز برای انتقال قطعه p از مرکز تاسیسات u به مرکز تاسیسات x
xan_{n}^{i}	ظرفیت مرکز بازیافت n برای بازیافت ماده اولیه i	VUX_{ivux}	مقدار وسیله نقلیه نوع v مورد نیاز برای انتقال مواد خام m از مرکز تأسیسات u به مرکز تأسیسات x
xap_{p}^{i}	ظرفیت مرکز دفع ایمن p برای ماده اولیه i	WU_{u}	تعداد کارگران استخدام شده در مرکز U
xar_{rj}	ظرفیت مرکز بازسازی r برای قطعه j	**متغیرهای باینری**	
xaf_{fi}	ظرفیت مرکز دمونتاژ f برای ماده اولیه i	YBtb	اگر مرکز تولید b با فناوری t ساخته شود، YB برابر یک است. در غیر این صورت، برابر با صفر است.
xac_{c}	ظرفیت مرکز تولید انرژی پاک c برای تولید انرژی سبز	YUu	اگر تسهیلات U ساخته شود، YU برابر یک است. در غیر این صورت، برابر با صفر است.
dm_{m}	تقاضای مشتری m		
rm_{m}	تعداد محصولات بازگشتی از مشتری m		
α_{i}	حجم بکار رفته از ماده اولیه i در یک واحد محصول		
ε_{i}	نرخ قابل استفاده از ماده بازیافتی i		
β_{j}	ضریب مصرف قطعه j در یک واحد محصول		
ρ_{i}	نرخ غیرقابل استفاده از ماده اولیه i پس از بازیافت		
φ_{j}	نرخ بازتولید قطعه j پس از دمونتاژ محصول		
ψ_{j}	نرخ قابل بازیافت قطعه j پس از دمونتاژ محصول		

λ_{ij}	حجم ماده اولیه i در قطعه j		
cb_{bt}	هزینه تولید یک واحد محصول در مرکز تولید b با فناوری t		
cf_f	هزینه پردازش یک واحد محصول بازگشتی در مرکز دمونتاژ f		
cv_v	هزینه جابه جایی یک کیلومتر توسط وسیله نقلیه v		
dUX	فاصله بین تسهیلات U و X		

پیوست ۲. توابع هدف دوم، سوم و چهارم مدل

تابع هدف دوم، معادله ۲۶، به کاهش انتشار کربن در شبکه می‌پردازد که شامل چهار بخش است. معادله ۲۷ به کاهش آلودگی هوا در حین ساخت تسهیلات می‌پردازد. معادله ۲۸ میزان انتشار کربن از تامین‌کنندگان را تعیین می‌کند. معادله ۲۹ کربن‌زدایی عمیق را با استفاده از انرژی خورشیدی برای نیازهای عملیاتی ترویج می‌کند. معادله ۳۰ بر کربن‌زدایی حمل و نقل با ناوگان وسایل نقلیه ناهمگن تمرکز دارد .

$$(26)\ Min\ Obj2 = Obj2^{Establishment} + Obj2^{Procurement} + Obj2^{Production} + Obj2^{Transportation}$$

$$(27)\ Obj2^{Establishment} = \sum_{b\in B} COeb_{tb}YB_{tb} + \sum_{d\in D} COed_d YD_d + \sum_{s\in S} COes_s YS_s + \sum_{f\in F} COef_f YF_f + \sum_{n\in N} COen_n YN_n + \sum_{p\in P} COep_p YP_p + \sum_{r\in R} COer_r YR_r + \sum_{c\in C} COec_c YC_c$$

$$(28)\ Obj2^{Procurement} = \left(\sum_{i\in I}\sum_{a\in A}\sum_{b\in B} COi_{ia}XIB_{iab} + \sum_{j\in J}\sum_{a\in A}\sum_{b\in B} COj_{ja}XJB_{jab}\right)$$

$$(29)\ Obj2^{Production} = \Big(\sum_{b\in B}\sum_{d\in D} COb_{tb}XBD_{tbd} + \sum_{d\in D}\sum_{m\in M} COd_d XDM_{dm} + \sum_{s\in S}\sum_{f\in F} COs_s XSF_{sf} + \sum_{s\in S}\sum_{f\in F} COf_f XSF_{sf} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{f\in F}\sum_{n\in N} COn_{in}\left(\lambda_{ij}XFN_{jfn}\right) + \sum_{j\in J}\sum_{f\in F}\sum_{r\in R} COr_{jr}XFR_{jfr}\Big) + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{n\in N}\sum_{f\in F}\sum_{p\in P} COp_{ip}\left(\lambda_{ij}XFP_{jfp} + XNP_{inp}\right)$$

$$(30)\ Obj2^{Transportation} = \sum_{i\in I}\sum_{v\in V}\sum_{a\in A}\sum_{b\in B} COv_v dab_{ab}VIB_{ivab} + \sum_{j\in J}\sum_{v\in V}\sum_{a\in A}\sum_{b\in B} COv_v dab_{ab}VJB_{jvab} + \sum_{v\in V}\sum_{b\in B}\sum_{d\in D} COv_v dbd_{bd}VBD_{vbd} + \sum_{v\in V}\sum_{d\in D}\sum_{m\in M} COv_v ddm_{dm}VDM_{vdm} + \sum_{v\in V}\sum_{m\in M}\sum_{s\in S} COv_v dms_{ms}VMS_{vms} + \sum_{v\in V}\sum_{s\in S}\sum_{f\in F} COv_v dsf_{sf}VSF_{vsf} + \sum_{j\in J}\sum_{v\in V}\sum_{f\in F}\sum_{n\in N} COv_v dfn_{fn}VJN_{jvfn} +$$

$\sum_{j\in J}\sum_{v\in V}\sum_{f\in F}\sum_{p\in P} COv_v dfp_{fp} VJP_{jvfp} + \sum_{j\in J}\sum_{v\in V}\sum_{f\in F}\sum_{r\in R} COv_v dfr_{fr} VJR_{jvfr} +$
$\sum_{i\in I}\sum_{v\in V}\sum_{n\in N}\sum_{p\in P} COv_v dnp_{np} VNP_{ivnp} + \sum_{i\in I}\sum_{v\in V}\sum_{n\in N}\sum_{z\in Z} COv_v dnz_{nz} VIZ_{ivnz} +$
$\sum_{i\in I}\sum_{v\in V}\sum_{n\in N}\sum_{b\in B} COv_v dnb_{nb} VNB_{ivnb} + \sum_{j\in J}\sum_{v\in V}\sum_{r\in R}\sum_{b\in B} COv_v drb_{rb} VRB_{jvrb}$

تابع هدف سوم، معادله ۳۱، بر کاهش مصرف انرژی برای ترویج کربن‌زدایی تمرکز دارد. معادله ۳۲ نشان دهنده انرژی مورد نیاز برای ساخت و ساز تسهیلات است. معادله ۳۳ برای تامین‌کنندگان، معادله ۳٤ برای بخش عملیاتی و معادله ۳۵ برای حمل و نقل می‌باشد.

(31) $Min\ Obj3 = Obj3^{Establishment} + Obj3^{Procurement} + Obj3^{Production} + Obj3^{Transportation}$

(32) $Obj3^{Establishment} = \sum_{b\in B} enb_{tb} YB_{tb} + \sum_{d\in D} end_d YD_d + \sum_{s\in S} ens_s YS_s + \sum_{f\in F} enf_f YF_f + \sum_{n\in N} enn_n YN_n + \sum_{p\in P} enp_p YP_p + \sum_{r\in R} enr_r YR_r + \sum_{c\in C} enc_c YC_c$

(33) $Obj3^{Procurement} = \sum_{i\in I}\sum_{a\in A}\sum_{b\in B} ei_{ia} XIB_{iab} + \sum_{j\in J}\sum_{a\in A}\sum_{b\in B} ej_{ja} XJB_{jab}$

(34) $Obj\ 3^{Production} = \sum_{b\in B}\sum_{d\in D} eb_{tb} XBD_{tbd} + \sum_{d\in D}\sum_{m\in M} ed_a XDM_{dm} + \sum_{s\in S}\sum_{f\in F} es_s XSF_{sf} + \sum_{s\in S}\sum_{s\in F} ef_f XSF_{sf} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{f\in F}\sum_{n\in N} en_{in}(\lambda_{ij} XFN_{jfn}) + \sum_{j\in J}\sum_{f\in F}\sum_{r\in R} er_{jr} XFR_{jfr} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{n\in N}\sum_{f\in F}\sum_{p\in P} ep_{ip}(\lambda_{ij} XFP_{jfp} + XNP_{inp})$

(35) $Obj3^{Transportation} = \sum_{i\in I}\sum_{v\in V}\sum_{a\in A}\sum_{b\in B} etv_v dab_{ab} VIB_{ivab} + \sum_{j\in J}\sum_{v\in V}\sum_{a\in A}\sum_{b\in B} etv_v dab_{ab} VJB_{jvab} + \sum_{v\in V}\sum_{b\in B}\sum_{d\in D} etv_v dbd_{bd} VBD_{vbd} + \sum_{v\in V}\sum_{d\in D}\sum_{m\in M} etv_v ddm_{dm} VDM_{vdm} + \sum_{v\in V}\sum_{m\in M}\sum_{s\in S} etv_v dms_{ms} VMS_{vms} + \sum_{v\in V}\sum_{s\in S}\sum_{f\in F} etv_v dsf_{sf} VSF_{vsf} + \sum_{j\in J}\sum_{v\in V}\sum_{f\in F}\sum_{n\in N} etv_v dfn_{fn} VJN_{jvfn} + \sum_{j\in J}\sum_{v\in V}\sum_{f\in F}\sum_{p\in P} etv_v dfp_{fp} VJP_{jvfp} + \sum_{j\in J}\sum_{v\in V}\sum_{f\in F}\sum_{r\in R} etv_v dfr_{fr} VJR_{jvfr} + \sum_{i\in I}\sum_{v\in V}\sum_{n\in N}\sum_{p\in P} etv_v dnp_{np} VNP_{ivnp} + \sum_{i\in I}\sum_{v\in V}\sum_{n\in N}\sum_{z\in Z} etv_v dnz_{nz} VIZ_{ivnz} + \sum_{i\in I}\sum_{v\in V}\sum_{n\in N}\sum_{b\in B} etv_v dnb_{nb} VNB_{ivnb} + \sum_{j\in J}\sum_{v\in V}\sum_{r\in R}\sum_{b\in B} etv_v drb_{rb} VRB_{jvrb}$

چهارمین هدف برای پاسخگویی به مسئولیت‌های اجتماعی شبکه، با توجه به ظرفیت مورد نیاز هر تسهیلات و با هدف افزایش فرصت‌های شغلی است، که توسط معادله ۳٦ ارائه شده است.

(36) $Max\ obj4 = \{\sum_{b\in B} FJNb_b . YB_b + \sum_{n\in N} FJNn_n . YN_n + \sum_{r\in R} FJNr_r . YR_r + \sum_{f\in F} FJNf_f . YF_f\} + \sum_{a\in A} VJNa_a . Q_a . {}^{W_a}/_{xa_a} + \sum_{b\in B} VJNb_b . Q_b . {}^{W_b}/_{xab_b} +$

$$\sum_{n\in N}\sum_{i\in I} VJNn_n . Q_n . {W_n}/{xan_{ni}} + \sum_{r\in R}\sum_{j\in J} VJNr_r . Q_r . {W_r}/{xar_{fj}} + \sum_{f\in F}\sum_{i\in I} VJNf_f . Q_f . {W_f}/{xaf_{fi}}$$

پیوست ۳ محدودیت‌های مدل

معادله ۳۷ تا ۴۸ محدودیت‌های مربوط به لجستیک را تعیین می‌کند، از جمله تعداد و نوع وسایل نقلیه حمل و نقل که برای جابجایی مواد، قطعات یا محصولات بین تاسیسات مختلف مورد نیاز است.

$$(37)\sum_{t\in T} XBD_{tbd} \le \sum_{v\in V} vv_v VBF_{vbd} \qquad \forall b, d$$

$$(38) XIB_{iab} \le \sum_{v\in V} vi_{vi} VIB_{ivab} \qquad \forall i, a, b$$

$$(39) XJB_{jab} \le \sum_{v\in V} vj_{vj} VJB_{jvab} \qquad \forall j, a, b$$

$$(40) XMS_{ms} \le \sum_{v\in V} vv_v VMS_{vms} \qquad \forall m, s$$

$$(41) XSF_{sf} \le \sum_{v\in V} vv_v VSF_{vsf} \qquad \forall s, f$$

$$(42) XFR_{jfr} \le \sum_{v\in V} vj_{vj} VJR_{jvfr} \qquad \forall j, f, r$$

$$(43) XFP_{jfp} \le \sum_{v\in V} vj_{vj} VJP_{jvfp} \qquad \forall j, f, p$$

$$(44) XFN_{jfn} \le \sum_{v\in V} vj_{vj} VJN_{jvfn} \qquad \forall j, f, n$$

$$(45) XNP_{inp} \le \sum_{v\in V} vi_{vi} VNP_{ivnp} \qquad \forall i, n, p$$

$$(46) XNB_{inb} \le \sum_{v\in V} vi_{vi} VNB_{ivnb} \qquad \forall i, n, b$$

$$(47) XNZ_{inz} \le \sum_{v\in V} vi_{vi} VIZ_{ivnz} \qquad \forall i, n, z$$

$$(48) XRB_{jrb} \le \sum_{v\in V} vj_{vj} VRB_{jvrb} \qquad \forall j, r, b$$

معادله ٤٩ تا ٥٦ محدودیت ظرفیت تسهیلات مختلف است. این محدودیت‌ها تضمین می‌کند که قطعات، مواد اولیه یا محصولات ورودی یا خروجی از هر یک از تسهیلات یا مراکز از ظرفیت آنها بیشتر نباشد.

$$\sum_{b\in b} XJB_{jab} \le xaj_{aj} \quad \forall j,a \tag{49}$$

$$\sum_{d\in D} XBD_{tbd} \le xab_{tb} YB_{tb} \quad \forall t,b \tag{50}$$

$$\sum_{m\in M} XDM_{dm} \le xad_{a} YD_{d} \quad \forall d \tag{51}$$

$$\sum_{m\in M} XMS_{ms} \le xas_{s} YS_{s} \quad \forall s \tag{52}$$

$$\sum_{s\in S} XSF_{sf} \le xaf_{f} YF_{f} \quad \forall f \tag{53}$$

$$\sum_{j\in J}\sum_{f\in F} \lambda_{ij} XFN_{jfn} \le xan_{ni} YN_{n} \quad \forall i,n \tag{54}$$

$$\sum_{n\in N} XNP_{inp} + \sum_{j\in J}\sum_{f\in F} \lambda_{ij} XFP_{jfp} \le xap_{pi} YP_{p} \quad \forall i,p \tag{55}$$

$$\sum_{f\in F} XFR_{jfr} \le xar_{rj} YR_{r} \quad \forall j,r \tag{56}$$

معادله ٥٧ تا ٦١ اطمینان حاصل شود که تعداد کارکنان در مراکز مختلف کمتر از حداقل کارگران مورد نیاز نباشد.

$$wa_{a} \ge VJNa_{a} \quad \forall a \tag{57}$$

$$wb_{b} \ge VJNb_{b} \quad \forall b \tag{58}$$

$$wn_{n} \ge VJNn_{n} \quad \forall n \tag{59}$$

$$wr_{r} \ge VJNr_{r} \quad \forall r \tag{60}$$

$$wf_{f} \ge VJNf_{f} \quad \forall f \tag{61}$$

معادله ٦٢ تا ٦٨ تضمین می‌کند که مقدار تأسیسات ایجاد شده در دو جریان مستقیم و معکوس از حداکثر از پیش تعیین شده تجاوز نمی‌کند.

$$\sum_{d\in D} YD_{d} \le d^{max} \tag{62}$$

$$(63)\sum_{s\in S} YS_s \le s^{max}$$

$$(64)\sum_{f\in F} YF_f \le f^{max}$$

$$(65)\sum_{n\in N} YN_n \le n^{max}$$

$$(66)\sum_{p\in P} YP_p \le p^{max}$$

$$(67)\sum_{r\in R} YR_r \le r^{max}$$

$$(68)\sum_{c\in C} YC_c \le c^{max}$$

معادله ۶۹ تا ۷۱ مربوط به متغیرهای تصمیم مدل است .

(69)

$$XIB_{iab}, XJB_{jab}, XDM_{dm}, XMS_{ms}, XSN_{jsn}, XSP_{jsp}, XSR_{jsr}, XNP_{inp}, XNZ_{inz}, XRB_{jrb}, XBD_{tbd}, XMS_{ms}, XSF_{sf}, XFN_{jfn}, XFP_{jfp}$$

$$, XFR_{jfr}, XNB_{inb} \ge 0 \qquad \forall m, s, i, p, j, g, h, r, n, d, z, q, t$$

(70)

$$VJB_{jvab}, VIB_{ivab}, VBD_{vbd}, VDM_{vdm}, VMS_{vms}, VSF_{vsf}, VJN_{jvfn}, VBL_{jvfp}, VJR_{jvfr}, VRB_{jvrb}, VNP_{ivnp}, VIZ_{ivnz}, VNB_{ivnb},$$

$$Wa_a, Wb_b, Wn_n, Wr_r, Wf_f \ge 0 \ \& \ Integer \qquad \forall j, v, a, b, d, m, s, f, n, p, r, i, z$$

$$(71) YE_{te}, YD_d, YS_s, YN_n, YP_p, YR_r, YF_f, YC_c \in \{0,1\} \qquad \forall t, e, d, s, n, p, r, f, c$$